

**CERTIFICATE OF MAILING**

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service on the date shown below with sufficient postage as first class mail in an envelope addressed to the: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.

Date: February 18, 2004

Christine M. Spivey



Patent  
36856.1146

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In re application of: Hiroshi KAWAI

Serial No.: 10/705,994

Filing Date: November 13, 2003

For: **RF-MEMS SWITCH**

Art Unit: 2832

Examiner: Unknown

**TRANSMITTAL OF PRIORITY DOCUMENTS**

Commissioner for Patent  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Dear Sir:

Enclosed herewith is a certified copy of Japanese Patent Application Nos. **2002-361113** filed **December 12, 2002** and **2003-347181** filed **October 6, 2003** from which priority is claimed under 35 U.S.C. 119 and Rule 55b.

Acknowledgement of the priority documents is respectfully requested to ensure that the subject information appears on the printed patent.

Respectfully submitted,

Date: February 18, 2004

  
Attorneys for Applicant(s)

Joseph R. Keating  
Registration No. 37,368

Christopher A. Bennett  
Registration No. 46,710

**KEATING & BENNETT LLP**  
**10400 Eaton Place, Suite 312**  
**(703) 385-5200**

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日      2 0 0 3 年 1 0 月    6 日  
Date of Application:

出 願 番 号      特 願 2 0 0 3 - 3 4 7 1 8 1  
Application Number:  
[ST. 10/C]:      [ J P 2 0 0 3 - 3 4 7 1 8 1 ]

出 願 人      株式会社村田製作所  
Applicant(s):

2 0 0 3 年 1 0 月 2 1 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願  
【整理番号】 MP1124  
【提出日】 平成15年10月 6日  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 H01H 59/00  
【発明者】  
    【住所又は居所】 京都府長岡京市天神二丁目 2 6 番 1 0 号 株式会社村田製作所内  
    【氏名】 川合 浩史  
【特許出願人】  
    【識別番号】 000006231  
    【氏名又は名称】 株式会社村田製作所  
【代理人】  
    【識別番号】 100093894  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 五十嵐 清  
【先の出願に基づく優先権主張】  
    【出願番号】 特願2002-361113  
    【出願日】 平成14年12月12日  
【手数料の表示】  
    【予納台帳番号】 000480  
    【納付金額】 21,000円  
【提出物件の目録】  
    【物件名】 特許請求の範囲 1  
    【物件名】 明細書 1  
    【物件名】 図面 1  
    【物件名】 要約書 1  
    【包括委任状番号】 9004888

**【書類名】 特許請求の範囲****【請求項 1】**

基板と、この基板上に形成される高周波信号導通部と、この高周波信号導通部の上方側に高周波信号導通部の信号導通方向に間隔を介して配列されている複数の可動電極と、これら複数の可動電極を同時に高周波信号導通部に対して遠近方向の同じ向きに変位させる可動電極変位手段とを有し、その可動電極変位手段によって、全ての可動電極が高周波信号導通部から離れる方向に変位して設定の信号オン位置に配置されたときに高周波信号導通部の高周波信号の導通をオンさせ、全ての可動電極が高周波信号導通部に近付く方向に変位して設定の信号オフ位置に配置されたときに高周波信号導通部の高周波信号の導通をオフさせる構成と成しており、可動電極が設定の信号オン位置に配置されているときに、各可動電極にそれぞれ対向する高周波信号導通部の位置でそれぞれ反射される高周波信号の合成信号の振幅が、複数の可動電極のうちのそれぞれ単一の可動電極に対向する高周波信号導通部の位置で反射された信号の振幅よりも小さく抑えられるように、各可動電極間の高周波信号導通部を介した電氣的な長さが設定されていることを特徴とする RF MEMS スイッチ。

**【請求項 2】**

高周波信号導通部の信号導通方向に間隔を介して配列される可動電極は対を成す 2 個と成し、これら可動電極が可動電極変位手段によって設定の信号オン位置に配置されているときに対を成す可動電極間の高周波信号導通部を介した電氣的な長さが高周波信号導通部に導通する高周波信号波長の  $1/4$  と成していることを特徴とする請求項 1 記載の RF MEMS スイッチ。

**【請求項 3】**

基板と、この基板上に形成される高周波信号導通部と、基板の上方側に基板と間隔を介して配置され高周波信号導通部の少なくとも一部分に対向する単一の可動体と、この可動体に形成され高周波信号導通部に対向する可動電極と、静電引力を利用して可動体を基板に対して遠近方向に変位させる可動体変位手段とを有し、可動電極は可動体に複数形成されて互いに高周波信号導通部の信号導通方向に間隔を介して配列され、これら複数の可動電極間の高周波信号導通部が系のインピーダンスより高い特性インピーダンスを有する構成をもって、高周波信号導通部に導通される高周波信号波長の  $1/4$  以下の長さの伝送線路として機能することを特徴とする RF MEMS スイッチ。

**【請求項 4】**

基板と、この基板上に形成される高周波信号導通部と、基板の上方側に基板と間隔を介して配置され高周波信号導通部の少なくとも一部分に対向し、かつ、高周波信号導通部の信号導通方向に互いに間隔を介して配置された複数の可動体と、それぞれの可動体に形成され高周波信号導通部に対向する可動電極と、静電引力を利用して可動体を基板に対して遠近方向に変位させる可動体変位手段とを有し、複数の可動電極間の高周波信号導通部が系のインピーダンスより高い特性インピーダンスを有する構成をもって、高周波信号導通部に導通される高周波信号波長の  $1/4$  以下の長さの伝送線路として機能することを特徴とする RF MEMS スイッチ。

**【請求項 5】**

1 つの可動体に複数の可動電極が形成されて、これらの可動電極が互いに高周波信号導通部の信号導通方向に互いに間隔を介して配置されていることを特徴とする請求項 4 記載の RF MEMS スイッチ。

**【請求項 6】**

可動体は、高周波信号に対しては絶縁体として振る舞い、かつ、低周波信号および直流信号に対しては電極として振る舞う高抵抗半導体により構成されており、基板上には可動体の一部分に対向する可動用固定電極が形成され、この可動用固定電極と、前記電極として機能する可動体とは、当該可動用固定電極と可動体間の直流電圧印加による静電引力によって可動体を可動用固定電極側に変位させる可動体変位手段を構成していることを特徴とする請求項 3 又は請求項 4 又は請求項 5 記載の RF MEMS スイッチ。

**【請求項 7】**

可動体の上方側に間隔を介して対向する上部部材が配設されており、可動用固定電極を基板上に設けるのに代えて、可動用固定電極はその上部部材に可動体の少なくとも一部分に対向させて形成されていることを特徴とする請求項 6 記載の RF MEMS スイッチ。

**【請求項 8】**

対向し合う高周波信号導通部の表面と可動電極の表面とのうちの少なくとも一方には保護用の絶縁膜が形成されていることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 7 のいずれか一つに記載の RF MEMS スイッチ。

**【請求項 9】**

高周波信号導通部はコプレーナ線路とマイクロストリップ線路のうちの一方側と成し、RF MEMS スイッチは、可動電極と高周波信号導通部間の静電容量変化を利用して高周波信号導通部であるコプレーナ線路又はマイクロストリップ線路の信号の導通オン・オフを制御するシャントスイッチ素子であることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 8 のいずれか一つに記載の RF MEMS スイッチ。

**【請求項 10】**

RF MEMS スイッチは、互いに対向する高周波信号導通部と可動電極の少なくとも一部が互いに直接接触と離間とを行うことにより高周波信号導通部の信号の導通オン・オフを制御するスイッチ素子であることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 8 のいずれか一つに記載の RF MEMS スイッチ。

**【請求項 11】**

可動体は高抵抗半導体により構成される代わりに高周波信号に対して絶縁性を有する半導体又は絶縁体により構成され、この可動体には可動用固定電極に対応した位置に可動体変位用可動電極が形成されており、この可動体変位用可動電極と前記可動用固定電極とは、当該可動用固定電極と可動体変位用可動電極間の直流電圧印加による静電引力によって可動体を可動用固定電極側に変位させる可動体変位手段を構成していることを特徴とする請求項 6 乃至請求項 10 のいずれか一つに記載の RF MEMS スイッチ。

**【書類名】 明細書****【発明の名称】 R F M E M S スイッチ****【技術分野】****【0001】**

本発明は、例えば周辺監視レーダー用アンテナスキャン等の高周波回路モジュールに組み込まれる R F M E M S (RF micro electro mechanical systems) スイッチに関するものである。

**【背景技術】****【0002】**

ミリ波、マイクロ波の高周波信号で用いるスイッチ素子の例として、シャント型の R F M E M S スイッチ (シャントスイッチ素子) が提案されている (例えば、非特許文献 1 参照。)

**【0003】**

この種の R F M E M S スイッチには、例えば基板上に高周波信号導通部が設けられ、また、この高周波信号導通部の少なくとも一部に対向する電極が前記基板の上方側に配置される。この R F M E M S スイッチでは、その電極を、静電引力を利用して基板に対して遠近方向に変位させることにより、電極と高周波信号導通部との間の静電容量を変化させる。

**【0004】**

例えば、高周波信号導通部に形成した信号線路と前記可動する電極 (可動電極) 間の間隔を狭くすると、信号線路と可動電極間の静電容量が大きくなり、信号線路の高周波信号の導通がオフする。また、その逆に、信号線路と可動電極間の間隔を広くすると、信号線路と可動電極間の静電容量が小さくなり、信号線路の高周波信号の導通がオンする。つまり、この種の R F M E M S スイッチでは、可動電極を変位させて当該可動電極と信号線路間の静電容量を変化させることにより、高周波信号導通部の高周波信号の導通オン・オフを制御することができる。

**【0005】**

【非特許文献 1】 J. B. Muldavin, Student Member, IEEE 著、[High-Isolation CPW MEMS Shunt Switches-Part1: Modeling]、IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY TECHNIQUES, Vol.48. No.6 June 2000, p1045-1052.

**【発明の開示】****【発明が解決しようとする課題】****【0006】**

しかしながら、従来の R F M E M S スイッチは、可動電極が 1 つのスイッチ素子に 1 つだけ設けられる構成であり、スイッチとしての挿入損失や反射損失の低減、アイソレーション特性の向上を十分に行えない可能性があった。

**【0007】**

本発明の目的は、スイッチとしての挿入損失や反射損失の低減、アイソレーション特性の向上を十分に行うことができる R F M E M S スイッチを提供することにある。

**【課題を解決するための手段】****【0008】**

上記目的を達成するために、本発明は次のような構成をもって前記課題を解決するための手段としている。すなわち、この発明は、基板と、この基板上に形成される高周波信号導通部と、この高周波信号導通部の上方側に高周波信号導通部の信号導通方向に間隔を介して配列されている複数の可動電極と、これら複数の可動電極を同時に高周波信号導通部に対して遠近方向の同じ向きに変位させる可動電極変位手段とを有し、その可動電極変位手段によって、全ての可動電極が高周波信号導通部から離れる方向に変位して設定の信号オン位置に配置されたときに高周波信号導通部の高周波信号の導通をオンさせ、全ての可動電極が高周波信号導通部に近づく方向に変位して設定の信号オフ位置に配置されたときに高周波信号導通部の高周波信号の導通をオフさせる構成と成しており、可動電極が設定

の信号オン位置に配置されているときに、各可動電極にそれぞれ対向する高周波信号導通部の位置でそれぞれ反射される高周波信号の合成信号の振幅が、複数の可動電極のうちのそれぞれ単一の可動電極に対向する高周波信号導通部の位置で反射された信号の振幅よりも小さく抑えられるように、各可動電極間の高周波信号導通部を介した電氣的な長さが設定されていることを特徴としている。

#### 【0009】

また、この発明は、基板と、この基板上に形成される高周波信号導通部と、基板の上方側に基板と間隔を介して配置され高周波信号導通部の少なくとも一部分に対向する単一の可動体と、この可動体に形成され高周波信号導通部に対向する可動電極と、静電引力を利用して可動体を基板に対して遠近方向に変位させる可動体変位手段とを有し、可動電極は可動体に複数形成されて互いに高周波信号導通部の信号導通方向に間隔を介して配列され、これら複数の可動電極間の高周波信号導通部が系のインピーダンスより高い特性インピーダンスを有する構成をもって、高周波信号導通部に導通される高周波信号波長の $1/4$ 以下の長さの伝送線路として機能することも特徴としている。

#### 【0010】

さらに、この発明は、基板と、この基板上に形成される高周波信号導通部と、基板の上方側に基板と間隔を介して配置され高周波信号導通部の少なくとも一部分に対向し、かつ、高周波信号導通部の信号導通方向に互いに間隔を介して配置された複数の可動体と、それぞれの可動体に形成され高周波信号導通部に対向する可動電極と、静電引力を利用して可動体を基板に対して遠近方向に変位させる可動体変位手段とを有し、複数の可動電極間の高周波信号導通部が系のインピーダンスより高い特性インピーダンスを有する構成をもって、高周波信号導通部に導通される高周波信号波長の $1/4$ 以下の長さの伝送線路として機能することをも特徴としている。

#### 【発明の効果】

#### 【0011】

この発明によれば、複数の可動電極が高周波信号導通部の信号導通方向に間隔を介して配列形成されているので、次に示すような効果を得ることができる。つまり、全ての可動電極が設定の信号オン位置に配置されているときに、各可動電極にそれぞれ対向する高周波信号導通部の位置でそれぞれ反射される高周波信号は合成されることとなる。例えば、2つの合成される反射信号の位相が互いに逆相である場合には、それら反射信号は合成により互いに打ち消しあって、反射信号の合成信号の振幅を零にすることができる。このようなことを考慮して、各可動電極にそれぞれ対向する高周波信号導通部の位置でそれぞれ反射される高周波信号の合成信号の振幅が、複数の可動電極のうちのそれぞれ単一の可動電極に対向する高周波信号導通部の位置で反射された信号の振幅よりも小さく抑えられるように、各可動電極間の高周波信号導通部を介した電氣的な長さ（可動電極間に位置する高周波信号導通部の電氣的な長さ）を設定することによって、高周波信号導通部の高周波信号の導通オン時における高周波信号の反射信号の振幅（エネルギー）を小さく抑制することができる。これにより、反射損失を小さくすることができて、RFMEMSスイッチの特性向上を図ることができる。

#### 【0012】

また、静電引力を利用して基板上の高周波信号導通部に対して遠近方向に変位する可動体が設けられ、当該可動体に形成される可動電極が互いに高周波信号の導通方向に間隔を介して複数設けられ、これら複数の可動電極間の高周波信号導通部が系のインピーダンスより高い特性インピーダンスを有する構成をもって、高周波信号導通部に導通される高周波信号波長の $1/4$ 以下の長さの伝送線路として機能する構成を備えることによって、スイッチとしての挿入損失や反射損失の低減、アイソレーション特性の向上を十分に行うことができる。

#### 【0013】

さらに、単一の可動体を有し、この可動体に複数の可動電極を形成したものにあっては、小さい消費電力でRFMEMSスイッチを動作でき、単一の可動体を有して該可動体に

1つの可動電極を形成して成るRFMEMSスイッチに比べてコスト増もほとんど無く、上記のように、スイッチとしての特性向上を十分に行うことができる。

【0014】

さらに、複数の可動体を有してこれらの可動体にそれぞれ可動電極を形成したものにあっては、可動体の変位制御の精度を向上させることが容易となるので、スイッチとしての特性をより一層向上させることができる。

【0015】

さらに、可動体を高抵抗半導体により構成しているものにおいて、可動体は低周波信号および直流信号に対しては電極として振る舞うことができるので、可動体自体を可動体変位手段の電極として機能させることができる。これにより、可動体に可動体変位手段の電極を形成しなくて済むこととなるので、RFMEMSスイッチの構造および製造工程の簡略化を図ることができる。また、このように可動体を高抵抗半導体により構成しているものにおいて、当該高抵抗半導体は、高周波信号に対しては非常に低い誘電体損失を持つ性質であることから、信号のロスを低減することが可能となる。

【0016】

さらに、対向し合う高周波信号導通部の表面と可動電極の表面とのうちの少なくとも一方には絶縁膜が形成されているものにおいて、高周波信号導通部あるいは可動電極の保護を図ることができる。また、高周波信号導通部と可動電極は接触することがないので、高周波信号導通部と可動電極の接触による接触抵抗に起因した信号のロスを確実に防止することができる。

【0017】

さらに、高周波信号導通部はコプレーナ線路とマイクロストリップ線路のうちの一方側と成し、RFMEMSスイッチはシャントスイッチ素子であるものにおいて、コプレーナ線路やマイクロストリップ線路を流れる高周波信号導通オン・オフを上記のように、低挿入損失、低反射損失、高アイソレーションで行うことができるシャントスイッチ素子を実現できる。

【0018】

さらに、RFMEMSスイッチは、互いに対向する高周波信号導通部と可動電極の少なくとも一部が互いに直接接触と離間とを行うことにより高周波信号導通部の信号の導通オン・オフを制御するものにおいて、LC共振を使用していないため、高周波信号の周波数に影響されずに帯域幅の広いアイソレーション特性を有するスイッチが可能となる。

【0019】

さらに、高周波信号導通部との間に静電容量を発生させる可動電極と、この可動電極が設けられている可動体を静電引力を利用して変位させるための可動体変位用可動側電極とをそれぞれ独立に設計することができ、電極設計の自由度を高めることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0020】

以下に、この発明に係る実施形態例を図面に基づいて説明する。

【0021】

図1(a)には本発明に係るRFMEMSスイッチの一例が模式的な平面図により示され、図1(b)には図1(a)のA-A'部分の断面図が模式的に示されている。

【0022】

この第1実施形態例のRFMEMSスイッチ1は、高周波回路に組み込まれてコプレーナ線路のスイッチ素子として機能するものである。このRFMEMSスイッチ1において、基板2(例えばシリコン基板やサファイア基板など)を有し、この基板2上には高周波信号導通部であるコプレーナ線路(CPW線路)3が形成されている。このコプレーナ線路3は、信号線3sを2本のグランド線3g1, 3g2が間隔を介し挟み込む形態で配置されて成る高周波信号伝送用の線路であり、それら線路3s, 3g1, 3g2は、例えばAu等の導体膜により構成される。また、その線路3s, 3g1, 3g2の厚みは適宜設定されるものであるが、その一例を挙げるとすると、例えば約2 $\mu$ m程度である。この第1実施



形態例では、コプレーナ線路 3 には例えば 5 GHz 以上の高周波の信号が流れる。

【0023】

また、基板 2 の上方側には基板 2 と間隔を介して上部部材（例えばガラス基板）4 が配置されている。この上部部材 4 は固定部 5（5 a, 5 b）を介して基板 2 に固定されている。さらに、基板 2 と上部部材 4 間の間隙には、単一の可動体 6 が、コプレーナ線路 3 の上方側に間隔を介し、かつ、コプレーナ線路 3 の信号線 3 s とグラウンド線 3 g1, 3 g2 の一部分に共通に対向させて配置されている。この可動体 6 は、基板 2 に対して遠近方向に変位が可能となるように梁 7（7 a, 7 b）と支持部 8（8 a, 8 b）を介して上部部材 4 に支持されている。

【0024】

可動体 6 は枠形状と成しており、可動体 6 における基板 2 側の面には、例えば Au 等の導体膜から成る 2 つの可動電極 10（10 a, 10 b）が形成されている。これらの可動電極 10 a, 10 b は、互いにコプレーナ線路 3 の信号導通方向（信号線 3 s の長手方向）に間隔を介して配列している。図 2（a）には、基板 2 上に配置された可動体 6 の配置構成が梁 7（7 a, 7 b）および支持部 8（8 a, 8 b）と共に模式的な斜視図により示されており、図 2（b）にはその A-A' 部分の断面図が示されている。

【0025】

また、図 3（a）には上部部材 4 の位置から見た可動体 6 および可動電極 10 と、コプレーナ線路 3 との配置関係例が簡略化されて示され、また、図 3（b）には可動電極 10（10 a, 10 b）とコプレーナ線路 3 を横側から見た配置関係例が示されている。これらの図示の如く、可動電極 10 a, 10 b は、それぞれ、コプレーナ線路 3 のグラウンド線 3 g1 から信号線 3 s を介しグラウンド線 3 g2 にかけて跨ぐように、かつ、それら線路 3 s, 3 g1, 3 g2 と間隔を介し対向させて配設されている。

【0026】

信号線 3 s やグラウンド線 3 g1, 3 g2 の幅や間隔は特に限定されるものではないが、一例を挙げると、図 3（a）に示すように、可動電極 10 a, 10 b 間に挟まれている領域における信号線 3 s とグラウンド線 3 g1, 3 g2 との間の間隔（ギャップ） $W1 = W3 = 41 \mu m$  であり、信号線 3 s の幅  $W2 = 30 \mu m$  である。これに対して、可動電極 10 a, 10 b 間に挟まれていない領域における信号線 3 s とグラウンド線 3 g1, 3 g2 との間の間隔  $W4 = W6 = 31 \mu m$  であり、信号線 3 の幅  $W5 = 50 \mu m$  である。このように、第 1 実施形態例においては、可動電極 10 a, 10 b 間に挟まれている領域の信号線 3 s の幅を可動電極 10 a, 10 b 間に挟まれていない領域の信号線 3 s の幅よりも狭く形成している。また、RF MEMS スイッチ 1 における信号線 3 s の全長は 2 mm としている。

【0027】

図 1（b）に示すように、この第 1 実施形態例では、可動電極 10（10 a, 10 b）の表面には保護用の絶縁膜 11 が形成されている。この絶縁膜 11 は、例えば SiN 等の絶縁体により構成され、膜厚が例えば  $0.1 \mu m$  程度という如く、非常に薄い膜である。

【0028】

さらにまた、上部部材 4 には、可動体 6 に対向する部位に、凹部 4 a が形成されており、この凹部 4 a の内壁面には可動体 6 に対向する可動用固定電極 12（12 a, 12 b）が形成されている。また、上部部材 4 には、当該上部部材 4 の表面から可動用固定電極 12 a, 12 b に至るスルーホール 13 a, 13 b が形成され、また、上部部材 4 の表面から支持部 8（8 b）に至るスルーホール 13 c が形成されている。さらに、上部部材 4 の表面には、各スルーホール 13 a, 13 b, 13 c にそれぞれ接続する電極パッド 14 a, 14 b, 14 c が形成されている。

【0029】

この第 1 実施形態例において、可動体 6 は高抵抗半導体により構成されている。高抵抗半導体とは、高周波信号（例えば約 5 GHz 以上の信号）に対しては絶縁体として振る舞い、低周波信号（例えば約 100 kHz 以下の信号）および直流信号に対しては電極として振る舞うことができる高い抵抗率を有する半導体である。この第 1 実施形態例では、可動体 6

を構成する高抵抗半導体は、 $1000\Omega\text{cm}$ 以上、かつ、 $10000\Omega\text{cm}$ 以下の範囲内の抵抗率を有している。なお、この第1実施形態例では、梁7と支持部8は可動体6と同じ材料により構成されている。

#### 【0030】

また、高抵抗半導体の一例である高抵抗シリコンは、誘電体損失 ( $\tan\delta$ ) に関して次のような性質を有する。つまり、図8の実線Bに示す如く、ガラス等の絶縁体は、高周波領域において、周波数が高くなるに従って誘電体損失が大きくなる。これに対して、高抵抗シリコンは、高周波領域において絶縁体として振る舞うのに、図8の実線Aに示すように、周波数が高くなるに従って誘電体損失が小さくなるというものである。なお、図8のグラフにおいて、実線Aは、抵抗率 $2000\Omega\text{cm}$ を持つ高抵抗シリコンに関するものであり、実線aにより囲まれている領域内の値は実験値であり、それ以外は文献値である。また、実線Bはパイレックス（登録商標）ガラスに関する文献値である。

#### 【0031】

この第1実施形態例では、コプレーナ線路3を流れる信号は5GHz以上の高周波信号である。この高周波信号に対しては、高抵抗半導体から成る可動体6は、当該可動体6を絶縁体により構成する場合と同等、あるいは、それ以上の良好な誘電体損失の特性を有する。

#### 【0032】

前記の如く、高抵抗半導体から成る可動体6は、直流信号（直流電圧）に対しては当該可動体6自体を電極として機能させることができることから、この第1実施形態例では、電極としての可動体6と、可動用固定電極12a、12bとによって、可動体6を変位させる可動体変位手段が構成されている。つまり、電極パッド14a、14b、14cとスルーホール13a、13b、13cを介して外部から直流電圧（例えば5V程度の直流電圧）を可動体6と可動用固定電極12（12a、12b）との間に印加すると、当該可動体6と可動用固定電極12間に静電引力が発生する。この静電引力によって可動体6は、図1(b)の矢印Bに示すように、可動用固定電極12側に引き寄せられる。このように、可動体6と可動用固定電極12により静電引力を利用して可動体6を変位させることができる。すなわち、この第1実施形態例では、可動体6と、可動用固定電極12とによって、可動電極10a、10bを同時にコプレーナ線路3に対して遠近方向の同じ方向に変位させるための可動電極変位手段が構成されている。

#### 【0033】

また、この第1実施形態例では、外部からの直流電圧が可動体6と可動用固定電極12（12a、12b）間に印加されていないときには、例えば可動電極10上の絶縁膜11がコプレーナ線路3に接触している、または、近接している状態となる。この状態では、可動電極10とコプレーナ線路3間の間隔は絶縁膜11の厚み（例えば $0.1\mu\text{m}$ ）程度というように非常に狭く、可動電極10とコプレーナ線路3間の静電容量は大きくなる。

#### 【0034】

ところで、従来のRFMEMSスイッチは、例えば図11(a)、(b)に示すように、可動電極10は1つだけであった。なお、図11(a)は、1つの可動電極10を有するRFMEMSスイッチにおいて、基板2上に配置された可動体6の配置構成例を梁7（7a、7b）および支持部8（8a、8b）と共に斜視図により模式的に示したものである。図11(b)は図11(a)のA-A'部分の断面図である。

#### 【0035】

その1つだけ設けられた可動電極10と、コプレーナ線路3との配置関係は、図12(a)の平面図および図12(b)の側面図および図14(a)の斜視図に示すようになる。また、図13(a)には図12(b)に示される可動電極10およびコプレーナ線路3の等価回路が示されている。なお、これらの図において、 $C_1$ は可動電極10とグランド線3g1間の静電容量を示し、 $C_2$ は可動電極10とグランド線3g2間の静電容量を示し、 $C_3$ は可動電極10と信号線3s間の静電容量を示している。また、 $L_{s1}$ 、 $R_{s1}$

は、それぞれ、可動電極 10 のグラウンド線 3g1 側のインダクタンス値、抵抗値を示し、 $L_{s2}$ 、 $R_{s2}$  は、それぞれ、可動電極 10 のグラウンド線 3g2 側のインダクタンス値、抵抗値を示す。

#### 【0036】

図 13 (a) の等価回路を整理すると、図 13 (b) (図 14 (b)) に示すように表すことができる。なお、近似的に、静電容量  $C$  は、 $C = 1 / ((1 / (C_1 + C_2)) + (1 / C_3))$  の数式に基づくものである。インダクタンス  $L_s$  は、 $L_s = 1 / ((1 / L_{s1}) + (1 / L_{s2}))$  の数式に基づくものである。抵抗  $R_s$  は、 $R_s = 1 / ((1 / R_{s1}) + (1 / R_{s2}))$  の数式に基づくものである。

#### 【0037】

第 1 実施形態例の RF MEMS スイッチ 1 においても、1 つの可動電極 10 だけに注目すると、一つの可動電極 10 とコプレーナ線路 3 の等価回路は上記と同様である。この第 1 実施形態例の場合、2 つの可動電極 10 (10a, 10b) を、互いにコプレーナ線路 3 の信号導通方向に間隔を介して配列していることから、それら可動電極 10a, 10b と、コプレーナ線路 3 との等価回路は、図 4 (a) に示すようになる。

#### 【0038】

第 1 実施形態例の RF MEMS スイッチ 1 では、可動体 6 が基板 2 側に下がっていて可動電極 10 とコプレーナ線路 3 間の間隔が狭く、当該可動電極 10 とコプレーナ線路 3 間の静電容量  $C$  が大きくなったときに、図 4 (a) の等価回路における LC の直列共振周波数  $f$  が信号線 3s を流れる高周波信号の周波数と同じ又は近い値になるように (つまり、可動電極 10 のダウン時の等価直列容量を  $C_{DOWN}$  としたときに、 $f = 1 / \{2\pi \sqrt{L_s \cdot C_{DOWN}}\}$  となるように) 設計される。なお、一般に、図 11 に示した構成の可動電極 10 を 1 つだけ有する RF MEMS スイッチも、図 13 (b) に示した等価回路において同様の設計が行われる。

#### 【0039】

その結果、可動電極 10 のダウン時は、信号線 3s 側から可動電極 10 を介してグラウンド側を見たときの LC 回路部分のインピーダンス (可動電極 10 の近傍のコプレーナ線路 3 の信号線 3s とグラウンド間のインピーダンス) が非常に小さくなり、極小値 ( $R_s = 0.1 \sim 1 \Omega$ ) となる。つまり、信号線 3s から可動電極 10 を介してグラウンド側を見たときに短絡と等価な状態となる。これにより、コプレーナ線路 3 を導通している高周波信号は、可動電極 10 に対向するコプレーナ線路 3 の位置で図 4 (b) の等価回路図の矢印 D のように反射されることとなって、コプレーナ線路 3 の高周波信号の導通がオフする。

#### 【0040】

また、可動体 6 が基板 2 から離れる方向に (つまり、上側に) 変位して、可動電極 10 とコプレーナ線路 3 間の間隔が例えば  $3 \mu m$  程度に広がると、可動電極 10 とコプレーナ線路 3 間の静電容量  $C$  が小さくなり、信号線 3s 側から可動電極 10 を介してグラウンド側を見たときのインピーダンスが非常に大きくなる。つまり、信号線 3s から可動電極 10 を介してグラウンド側を見たときにオープンと等価な状態となる。これにより、図 4 (c) の等価回路図の矢印 U に示されるように、コプレーナ線路 3 の信号の導通はオンする。

#### 【0041】

換言すれば、この第 1 実施形態例の RF MEMS スイッチ 1 では、可動電極 10 がコプレーナ線路 3 に近付いて設定の信号オフ位置に配置されたときに、コプレーナ線路 3 の高周波信号は可動電極 10 に対向する位置で反射することとなり、コプレーナ線路 3 の高周波信号の導通がオフする。また、可動電極 10 がコプレーナ線路 3 から離れる方向に変位して設定の信号オン位置に配置されたときには、コプレーナ線路 3 の高周波信号の導通がオンする。

#### 【0042】

ところで、第 1 実施形態例では、2 つ可動電極 10a, 10b 間のコプレーナ線路 3

が、系のインピーダンスより高い特性インピーダンスを有する構成をもって、コプレーナ線路 3 に導通される高周波信号の波長の  $1/4$  以下の長さの伝送線路として機能することを特徴としている。これにより、2 つ可動電極 10 a, 10 b 間のコプレーナ線路 3 は整合回路として機能する。

#### 【0043】

具体的には、2 つの可動電極 10 a, 10 b 間に位置するコプレーナ線路 3 の特性インピーダンスおよび線路長は、可動電極 10 a, 10 b がアップ時に、最も信号が通りやすくなるように、つまり、反射が極小になるように、以下のような式 (1)、(2) にしたがって最適設計 (整合設計) が行われる。

#### 【0044】

$$Z_1 = Z_0 / \sin \theta \cdots \cdots (1)$$

#### 【0045】

$$1 / (\omega C_{UP}) - \omega L_s = Z_0 / \cos \theta \cdots \cdots (2)$$

#### 【0046】

ここで、 $Z_0$  は系のインピーダンスである。 $\theta$  は 2 つの可動電極 10 (10 a, 10 b) 間のコプレーナ線路 3 の電気的な長さ (電気長) であり、 $\theta$  が 90 度で  $\lambda/4$  となる ( $\lambda$  はコプレーナ線路 3 に導通される高周波信号波長)。また、 $\omega$  はコプレーナ線路 3 に導通される高周波信号の角周波数である。 $C_{UP}$  は可動電極 10 (10 a, 10 b) アップ時における可動電極一つ当たりの等価直列容量である。 $L_s$  は可動電極一つ当たりの等価直列インダクタンスである。

#### 【0047】

換言すれば、この第 1 実施形態例では、可動電極 10 (10 a, 10 b) のアップ時 (可動電極 10 (10 a, 10 b) が設定の信号オン位置に配置されているとき) において、2 つの可動電極 10 a, 10 b 間に位置するコプレーナ線路 3 の電気的な長さ (電気長) が、コプレーナ線路 3 を導通する高周波信号波長  $\lambda$  の  $1/4$  又はその  $\lambda/4$  から設定の許容範囲を越えない値となるように、可動電極 10 のアップ時における可動電極 10 とコプレーナ線路 3 間の静電容量  $C_{UP}$  を考慮して、可動電極 10 a, 10 b 間のコプレーナ線路 3 の物理的な長さ等が設計される。なお、可動電極 10 a, 10 b 間に位置するコプレーナ線路 3 部分の電気的な長さとは、物理的な長さとは異なり、コプレーナ線路 3 を導通する高周波信号にとっての電気的な長さであり、コプレーナ線路 3 を導通する高周波信号の周波数に応じて変化するものである。また、その可動電極 10 a, 10 b 間のコプレーナ線路 3 部分の電気的な長さには、可動電極 10 a, 10 b とコプレーナ線路 3 間の静電容量  $C$  ( $C_{UP}$ ) が関与しており、その静電容量  $C$  ( $C_{UP}$ ) が関与する分、可動電極 10 a, 10 b 間のコプレーナ線路 3 部分の電気的な長さは、そのコプレーナ線路 3 部分の物理的な長さよりも長くなっている。

#### 【0048】

この第 1 実施形態例では、可動電極 10 a, 10 b とコプレーナ線路 3 間の静電容量  $C$  ( $C_{UP}$ ) を考慮した、可動電極 10 a, 10 b 間のコプレーナ線路 3 部分の電気的な長さ (ここでは、可動電極 10 a, 10 b 間のコプレーナ線路 3 を介した電気的な長さという) が、コプレーナ線路 3 を導通している高周波信号波長  $\lambda$  の  $1/4$  又はその  $\lambda/4$  から設定の許容範囲を越えない値となるように、設計されるので、可動電極 10 のアップ時において、高周波信号の反射を非常に小さく抑制することができる。それというのは、次に示すような理由による。

#### 【0049】

つまり、可動電極 10 a, 10 b がアップの状態にあるとき (コプレーナ線路 3 の高周波信号の導通がオン状態であるとき) において、可動電極 10 とコプレーナ線路 3 間に僅かながら静電容量  $C_{UP}$  が生じているために、コプレーナ線路 3 を導通している高周波信号の一部が、図 4 (c) の矢印 d に示されるように、可動電極 10 a, 10 b に対向するコプレーナ線路 3 の位置でそれぞれ反射してしまう。この第 1 実施形態例では、2 つの可動電極 10 a, 10 b が設けられているので、例えば、可動電極 10 a から可動

電極 10b に向かう方向に高周波信号が通電しているとした場合には、可動電極 10b に対向するコプレーナ線路 3 の位置で反射した高周波信号（反射信号 Sb）は可動電極 10a 側に戻って、可動電極 10a に対向するコプレーナ線路 3 の位置で反射した高周波信号（反射信号 Sa）と合成されることとなる。

#### 【0050】

この第 1 実施形態例では、可動電極 10a, 10b 間のコプレーナ線路 3 部分の電気的な長さが、高周波信号波長  $\lambda$  の  $1/4$  又はその近傍となるように設計されているので、反射信号 Sb は、反射信号 Sa と合成する際に、その反射信号 Sa よりも  $\lambda/2$  又はその近傍の長さ分だけ進んだ信号となる。つまり、反射信号 Sa が例えば図 4（d）の実線 Sa に示されるような波形を有している場合に、その反射信号 Sa と合成する反射信号 Sb は、例えば図 4（d）の点線 Sb に示される波形のように、反射信号 Sa と逆相又はほぼ逆相となる。このため、反射信号 Sa と反射信号 Sb は合成により互いに打ち消しあって、その合成信号の振幅は零又はほぼ零となる。

#### 【0051】

このように、この第 1 実施形態例では、可動電極 10 を 2 つ設け、それら可動電極 10a, 10b 間のコプレーナ線路 3 部分の電気的な長さが、高周波信号波長  $\lambda$  の  $1/4$  又はその近傍となるように設計したので、コプレーナ線路 3 の高周波信号の導通がオン状態であるときにおいて、可動電極 10 が 1 つだけしか設けられておらず図 14（a）、（b）の矢印 D に示されるように反射信号が 1 つだけである構成のものに比べて、反射信号 Sa, Sb の合成によって合成の反射信号の振幅を小さく抑制することができることとなる。

#### 【0052】

ここで、最適設計（整合設計）の一具体例を、図 3（a）を参照しながら説明する。 $Z_0 = 50 \Omega$ （例えば、信号線 3s の線路幅 W5 が  $50 \mu\text{m}$  で、信号線 3s とグランド線 3gl, 3g2 の間隔（ギャップ）W4、W6 が  $31 \mu\text{m}$  の場合）、 $\theta = 53^\circ$ （例えば可動電極 10a, 10b 間の信号線 3s の長さ  $l_2$  が  $232 \mu\text{m}$  で高周波信号周波数が  $76.5 \text{ GHz}$  の場合）、 $Z_1 = 63 \Omega$ （例えば、可動電極 10a, 10b 間の信号線 3s の線路幅 W2 が  $30 \mu\text{m}$  で、信号線 3s とグランド線 3gl, 3g2 の間隔 W1、W3 が  $41 \mu\text{m}$  の場合）、 $l_1 = 844 \mu\text{m}$ 、 $l_3 = 924 \mu\text{m}$ 、 $R_s = 0.25 \Omega$ 、 $C_{UP} = 20 \text{ fF}$ 、 $L_s = 43.28 \text{ pH}$  とする。この場合、高周波信号周波数と挿入損失の関係は図 5 の特性線 a に示すようになり、高周波信号周波数と反射損失の関係は図 6 の特性線 a に示すようになる。なお、図 3（a）は模式図であり、 $l_1$ 、 $l_2$ 、 $l_3$  は、上記値に対応した長さに示されていない。

#### 【0053】

図 5、図 6 の特性線 b は、図 11 に示したような、1 つの可動電極 10 を有する RF MEMS スイッチ 1 における挿入損失の周波数特性と反射損失の周波数特性をそれぞれ示している。この特性線 b は、 $Z_0 = 50 \Omega$  とし、 $R_s$ 、 $C_{UP}$ 、 $L_s$  が、それぞれ、上記同様の  $R_s = 0.25 \Omega$ 、 $C_{UP} = 20 \text{ fF}$ 、 $L_s = 43.28 \text{ pH}$  とし、図 11（a）に示す  $l_1$ 、 $l_2$  の長さをそれぞれ、 $l_1 = 1000 \mu\text{m}$ 、 $l_2 = 1000 \mu\text{m}$  とした条件の下で、求められたものである。

#### 【0054】

図 5、図 6 に示すように、第 1 実施形態例の RF MEMS スイッチ 1 では、複数の可動電極 10（10a, 10b）を同時に変位させることにより、1 つの可動電極 10 を有する構成のものに比べて、コプレーナ線路 3 に入力される高周波信号波長が  $76.5 \text{ GHz}$  を中心にして反射損失を格段に向上でき、また、挿入損失も低減することができる。

#### 【0055】

さらに、第 1 実施形態例において、可動電極 10a, 10b のダウン時には、信号は遮断される。このときのアイソレーション特性は図 7 の特性線 a に示すようになる。これに対して、可動電極 10 を 1 つだけ設けて成る RF MEMS スイッチにおいては、アイソレーション特性は図 7 の特性線 b に示すようになる。それら特性線 a, b に示されるように

、この第1実施形態例のRFMEMSスイッチ1は、可動電極10を1つだけ設けて成るRFMEMSスイッチよりも、アイソレーション特性を向上できている。なお、図7の特性線a、bは、それぞれ、 $C_{DOWN} = 100\text{ fF}$ とした以外は、図5、図6の特性線a、bを求めた条件と同じ条件でアイソレーションを求めた結果である。

#### 【0056】

以上のように、この第1実施形態例のRFMEMSスイッチ1は、スイッチとしての挿入損失や反射損失の低減、アイソレーション特性の向上を十分に行うことができる。

#### 【0057】

また、この第1実施形態例では、単一の可動体6に2つの可動電極10を形成しており、この可動体6を支持する梁7や支持部8の構成等は1つの可動電極10を有するRFMEMSスイッチと同様に形成できるし、小さい消費電力で2つの可動電極10a、10bを同時に動かしてスイッチング動作できる。

#### 【0058】

さらに、この第1実施形態例では、可動体6が高抵抗半導体により構成されているので、前記の如く、可動体6自体が可動体変位手段の電極として機能することができる。これにより、可動体6に、可動体変位手段を構成するための電極を形成しなくてすむので、RFMEMSスイッチ1の構造および製造工程の簡略化をより一層図ることができる。RFMEMSスイッチ1の低コスト化を図ることができる。

#### 【0059】

また、高抵抗半導体から成る可動体6は、高周波信号に対しては絶縁体の如く振る舞い、その誘電体損失( $\tan\delta$ )は絶縁体と同等、あるいは、それ以上に良好となることから、高周波信号の伝搬ロスを低減することができる。近年、信号は高周波化の傾向にあり、可動体6を絶縁体により構成すると、信号の高周波化により可動体6の誘電体損失は大きくなって(図8の実線B参照)、可動体6に因る信号の伝搬ロスの増加が懸念される。これに対して、この第1実施形態例では、可動体6を高抵抗半導体により構成することにより、信号が高周波化するにつれて可動体6の誘電体損失が小さくなる(図8の実線A参照)。このことから、信号の高周波化によって、可動体6に因る信号の伝搬ロスを低減することができる。このように、この第1実施形態例の構成は、今後、非常に有効となるものである。

#### 【0060】

さらに、例えば仮にコプレーナ線路3と可動電極10(10a、10b)が直接接触により結合する構成とすると、LC共振を使用していないため、高周波信号の周波数に影響されずに帯域幅の広いアイソレーション特性を有するスイッチを構成することが可能となる。しかし、その一方で、抵抗値 $R_s$ に接触抵抗成分が含まれて抵抗値 $R_s$ が大きくなってしまふ。これにより、信号のロスが増加する。これに対して、この第1実施形態例では、コプレーナ線路3と可動電極10(10a、10b)は静電容量を介して結合する構成であるので、コプレーナ線路3と可動電極10(10a、10b)間に接触抵抗は発生せず、信号のロスを抑制することができる。

#### 【0061】

以下に、第2実施形態例を説明する。なお、この第2実施形態例の説明において、第1実施形態例と同一構成部分には同一符号を付し、その共通部分の重複説明は省略する。

#### 【0062】

この第2実施形態例では、図1に示したような、可動体6を外部と導通させるためのスルーホール13cと電極パッド14cが省略されている。この構成により、可動体6は電氣的に浮遊した構成となっている。この構成以外の構成は第1実施形態例と同様であり、第1実施形態例と同様の効果を奏することができる。また、第2実施形態例は、スルーホール13cと電極パッド14cを省略した構成により、第1実施形態例の構成よりも、構造を簡略化することができる。また、製造コストを低減することができる。

#### 【0063】

以下に、第3実施形態例を説明する。なお、この第3実施形態例の説明において、第1

や第 2 の各実施形態例と同一構成部分には同一符号を付し、その共通部分の重複説明は省略する。

#### 【0064】

この第 3 実施形態例では、可動用固定電極 1 2 を可動体 6 の上方側に設けるのではなく、図 9 に示すように、可動用固定電極 1 2 (1 2 a, 1 2 b) は、可動体 6 の下方側、つまり、基板 2 上に、可動体 6 の一部分に対向させて設けられている。第 1 や第 2 の各実施形態例では、可動用固定電極 1 2 を可動体 6 の上方側に配置するために上部部材 4 が形成されていたが、この第 3 実施形態例では、可動用固定電極 1 2 が基板 2 上に形成される構成であるために、上部部材 4 を設けなくとも済むので、当該上部部材 4 は省略されている。また、可動体 6 は、上部部材 4 に支持されるのに代えて、梁 7 を介して、基板 2 に固定されている固定部 1 6 (1 6 a, 1 6 b) に支持されている。

#### 【0065】

この第 3 実施形態例では、可動用固定電極 1 2 は可動体 6 上に形成されているために、可動体 6 と可動用固定電極 1 2 間に直流電圧を印加すると、可動体 6 は基板 2 側に引き寄せられる構成となる。このため、可動体 6 と可動用固定電極 1 2 間に直流電圧を印加していないときには、図 9 に示すように、可動電極 1 0 上の絶縁膜 1 1 と、コプレーナ線路 3 との間には間隙が形成されて可動電極 1 0 のアップ状態となり、可動電極 1 0 とコプレーナ線路 3 間の静電容量が小さくなって、コプレーナ線路 3 の高周波信号の導通がオンする。また、可動体 6 と可動用固定電極 1 2 間に直流電圧を印加したときには、可動体 6 が基板 2 側に引き寄せられて可動電極 1 0 はダウン状態となって可動電極 1 0 とコプレーナ線路 3 間の静電容量が大きくなり、これにより、コプレーナ線路 3 の高周波信号の導通はオフする。

#### 【0066】

この第 3 実施形態例では、上部部材 4 を省略することができるので、構造および製造工程の簡略化を図ることができる。

#### 【0067】

なお、この第 3 実施形態例では、上部部材 4 が省略されていたが、例えば可動体 6 の保護や気密封止を図る観点から、この第 3 実施形態例の如く可動用固定電極 1 2 を基板 2 上に形成する構成とした場合においても、第 1 や第 2 の各実施形態例と同様に上部部材 4 およびその固定部 5 を設けてもよい。

#### 【0068】

なお、この発明は第 1 ～第 3 の各実施形態例に限定されるものではなく、様々な実施の形態を採り得る。例えば、第 1 や第 2 の各実施形態例では、上部部材 4 を基板 2 に固定する固定部 5 は基板 2 の両端側にそれぞれ設けられていたが、固定部 5 の配設形態は特に限定されるものではなく、例えば可動体 6 の配設領域を囲うように、基板 2 の四辺に沿った態様で設けてもよい。このような配設形態の固定部 5 と、上部部材 4 とを設けると、可動体 6 の配設領域を気密封止できるので好ましい。

#### 【0069】

また、第 1 ～第 3 の各実施形態例では、高周波信号導通部として、コプレーナ線路が設けられている例を示したが、高周波信号導通部として、コプレーナ線路以外の例えばマイクロストリップ線路等の線路を形成してもよい。

#### 【0070】

さらに、各実施形態例では、可動体 6 を構成する高抵抗半導体として、高抵抗のシリコンを例に挙げたが、シリコン以外の例えば G a A s 等の高抵抗の半導体により、可動体 6 を構成してもよいものである。

#### 【0071】

さらに、可動体 6 を高抵抗半導体により構成する代わりに、可動体 6 は、高周波信号に対して絶縁性を有する半導体又は絶縁体により構成されていてもよい。この場合には、例えば図 9 の鎖線で示すように、可動体 6 には、可動用固定電極 1 2 に対向する位置に可動体変位用可動電極 2 0 を形成する。この可動体変位用可動電極 2 0 と可動用固定電極 1 2



が、当該可動用固定電極 12 と可動体変位用可動電極 20 間の直流電圧印加による静電引力によって、可動体 6 を可動用固定電極 12 側に変位させる可動体変位手段と成す。また、その可動体変位手段と可動体 6 が、全ての可動電極 10a, 10b を同時にコプレーナ線路 3 に対する遠近方向の同じ向きに変位させるための可動電極変位手段と成す。

#### 【0072】

さらに、第 1～第 3 の各実施形態例では、可動電極 10 上に絶縁膜 11 が形成されているが、例えば、絶縁膜 11 を可動電極 10 に設けるのに代えて、コプレーナ線路 3 における少なくとも可動電極 10 に対向する部分に絶縁膜 11 を形成してもよいし、また、対向し合う可動電極 10 とコプレーナ線路 3 の両方の表面に絶縁膜 11 を形成してもよい。

#### 【0073】

さらに、第 1～第 3 の各実施形態例では、1つの可動体 6 に 2つの可動電極 10 を形成したが、1つの可動体 6 に 3つ以上の可動電極 10 を形成してもよい。また、1つの可動体 6 に 1つの可動電極 10 を形成し、この可動体 6 を複数設けることによって、複数の可動電極 10 を互いに高周波信号導通部の信号導通方向に間隔を介して配列してもよい。さらに、複数の可動電極 10 を形成した可動体 6 を複数設けることにより、複数の可動電極 10 を互いに高周波信号導通部の信号導通方向に間隔を介して配列してもよい。3つ以上の可動電極 10 が配列形成される場合には、可動電極 10 が設定の信号オン位置に配置されているときに、各可動電極 10 にそれぞれ対向する高周波信号導通部の位置でそれぞれ反射される高周波信号の合成信号の振幅が、複数の可動電極 10 のうちのそれぞれ単一の可動電極 10 に対向する高周波信号導通部の位置で反射された信号の振幅よりも小さく抑えられるように、各可動電極 10 間の高周波信号導通部を介した電氣的な長さが設定される。

#### 【0074】

さらに、第 1～第 3 の各実施形態例はシャントスイッチとしたが、互いに対向するコプレーナ線路 3 等の高周波信号導通部と可動電極 10 の少なくとも一部が互いに直接接触と離間を行うことにより高周波信号導通部の高周波信号の導通オン・オフを制御する構成としてもよい。この場合には、例えば 2つの可動電極 10a, 10b を設けて形成される RF MEMS スイッチの等価回路は図 10 (a)、(b) のようになる。

#### 【0075】

つまり、図 10 (a) の等価回路は、可動電極 10a, 10b がコプレーナ線路 3 に直接接触しているとき（可動電極 10a, 10b が設定の信号オフ位置に配置されているとき）のものである。この場合には、コプレーナ線路 3 の信号線 3s が可動電極 10a, 10b を介して直接的にグランドに短絡することにより、可動電極 10a, 10b が接触しているコプレーナ線路 3 の位置で高周波信号が図 10 (a) の矢印 D のように反射して、コプレーナ線路 3 の高周波信号の導通がオフする。

#### 【0076】

また、図 10 (b) の等価回路は、可動電極 10a, 10b がコプレーナ線路 3 から離れて可動電極 10a, 10b が設定の信号オン位置に配置されているときのものである。この場合には、可動電極 10a, 10b とコプレーナ線路 3 間の静電容量  $C_{UP}$  が小さくなって、信号線 3s から可動電極 10a, 10b（静電容量  $C_{UP}$ ）を介してグランドを見たときにオープンと等価な状態となる。これにより、コプレーナ線路 3 の高周波信号の導通はオンとなる。このように可動電極 10a, 10b のアップ時には、可動電極 10a, 10b がコプレーナ線路 3 に直接接触するタイプのもも、第 1～第 3 の各実施形態例に示すようなシャントスイッチも、同様な状態となる。

#### 【0077】

可動電極 10a, 10b がコプレーナ線路 3 に直接接触する構成を有する場合にも、第 1～第 3 の各実施形態例と同様に、可動電極 10a, 10b が設定の信号オン位置に配置されているときにおいて、可動電極 10a, 10b 間のコプレーナ線路 3 を介した電氣的な長さが、コプレーナ線路 3 を導通する高周波信号波長  $\lambda$  の  $1/4$ 、又は、その  $\lambda$



／4 から予め定めた許容範囲を越えない長さとなるように、可動電極 10a, 10b 間の物理的な間隔や、可動電極 10a, 10b が設定の信号オン位置に配置されているときの可動電極 10a, 10b とコプレーナ線路 3 間の間隔や、可動電極 10a, 10b 間に位置する部分のコプレーナ線路 3 の物理的な長さ等を設定する。これにより、可動電極 10 (10a, 10b) がコプレーナ線路 3 に直接接触するタイプのものであっても、第 1～第 3 の各実施形態例と同様に、挿入損失および反射損失の向上を図ることができる。なお、可動電極 10 がコプレーナ線路 3 に直接接触するタイプのものにあつては、アイソレーションの周波数特性は、図 7 の点線に示される特性線 c のように、コプレーナ線路 3 に導通する高周波信号の周波数によらずにアイソレーションがほぼ一定となる。可動電極 10 がコプレーナ線路 3 に直接接触するタイプのものにあつても、可動電極 10 を複数設けることによって、アイソレーションの向上を図ることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

##### 【0078】

【図 1】第 1 実施形態例の RF MEMS スイッチを説明するための図である。

【図 2】第 1 実施形態例の RF MEMS スイッチにおける可動体の配置構成を示す説明図である。

【図 3】第 1 実施形態例の RF MEMS スイッチを構成する可動電極とコプレーナ線路を抜き出して当該可動電極とコプレーナ線路の配置関係の一例を模式的に示すモデル図である。

【図 4】第 1 実施形態例の RF MEMS スイッチを構成する可動電極とコプレーナ線路部分の等価回路図を用いて、第 1 実施形態例の RF MEMS スイッチの動作例を説明するための図である。

【図 5】第 1 実施形態例の構成から得られる効果の一つを説明するための信号導通時における挿入損失の周波数特性の一例を示すグラフである。

【図 6】第 1 実施形態例の構成から得られる効果の一つを説明するための信号導通時における反射損失の周波数特性の一例を示すグラフである。

【図 7】第 1 実施形態例の構成から得られる効果の一つを説明するための信号遮断時のアイソレーションの周波数特性の一例を示すグラフである。

【図 8】高抵抗半導体における周波数と誘電体損失 ( $\tan \delta$ ) の関係例をガラスの場合と比較して示すグラフである。

【図 9】第 3 実施形態例の RF MEMS スイッチを説明するための説明図である。

【図 10】可動電極が高周波信号導通部との直接接触と離間によって高周波信号導通部の高周波信号の導通オン・オフを制御するタイプのスイッチの動作例を説明するための等価回路図である。

【図 11】可動電極が 1 つだけしか設けられていない構成を持つ RF MEMS スイッチの可動体の配置構成例を説明するための図である。

【図 12】図 11 に示す可動体に設けられている可動電極とコプレーナ線路の配置関係の一例を示すモデル図である。

【図 13】図 11 の構成を持つ RF MEMS スイッチの可動電極とコプレーナ線路部分の等価回路図である。

【図 14】図 11、図 12 の構成を持つ RF MEMS スイッチにおける信号導通オン・オフ状態を説明するための模式図である。

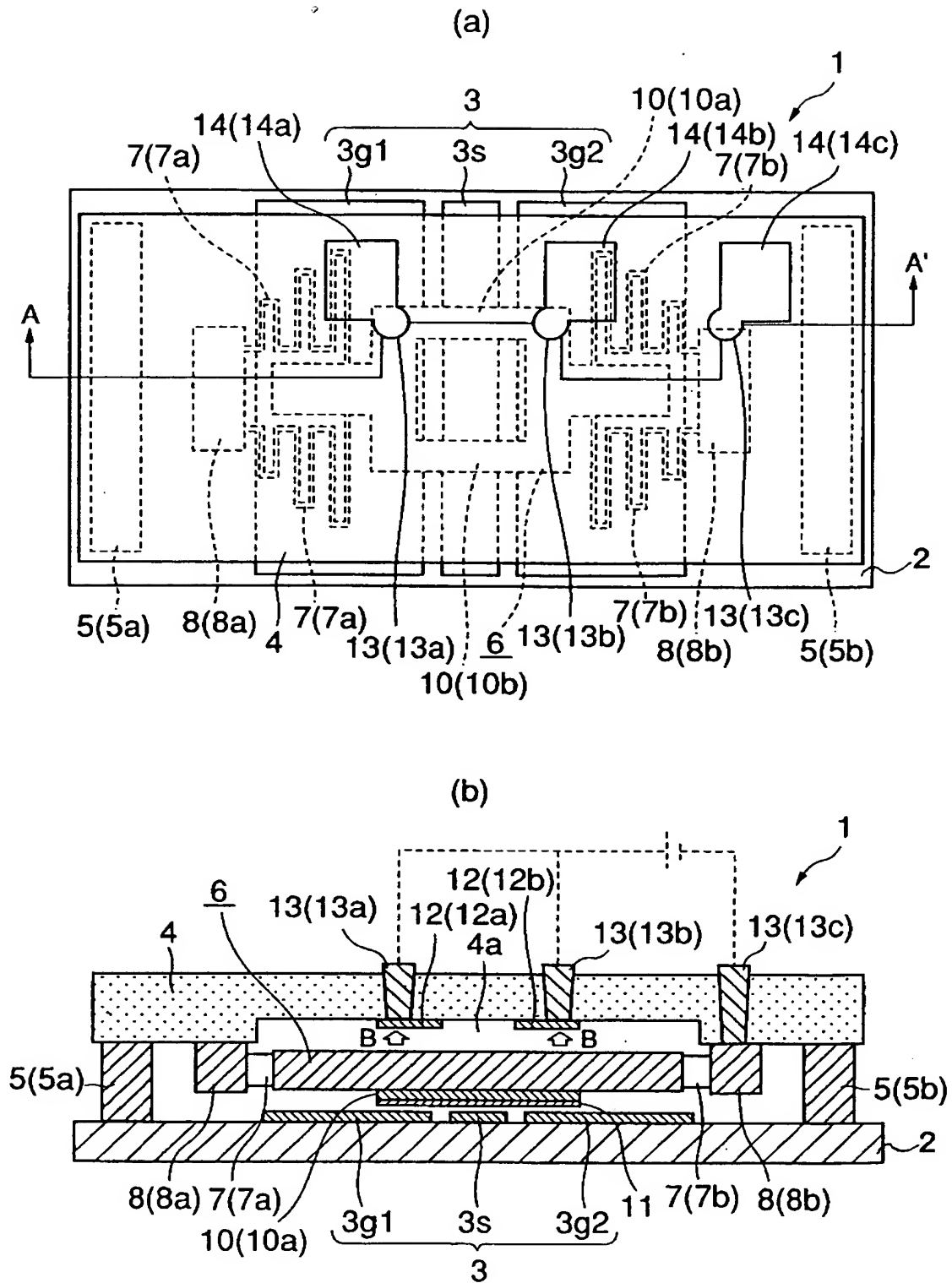
#### 【符号の説明】

##### 【0079】

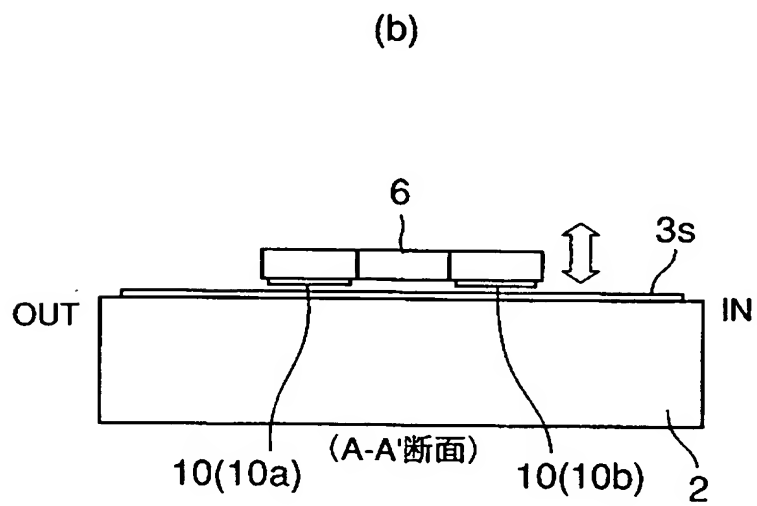
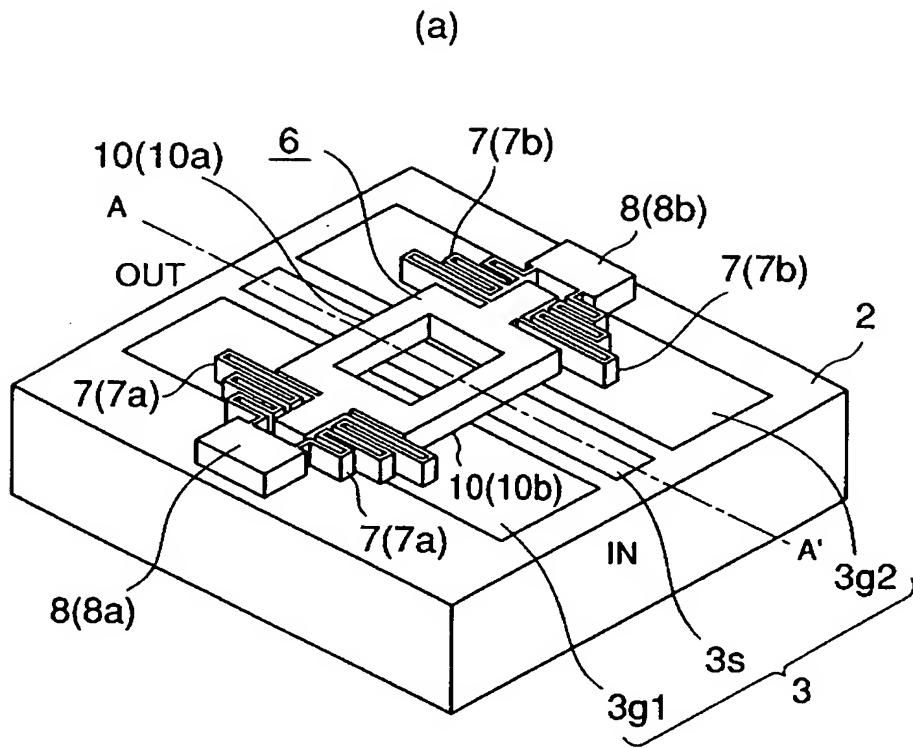
- 1 RF MEMS スイッチ
- 2 基板
- 3 コプレーナ線路
- 4 上部部材
- 6 可動体
- 10 可動電極

- 1 1 絶縁膜
- 1 2 可動用固定電極
- 2 0 可動体変位用可動電極

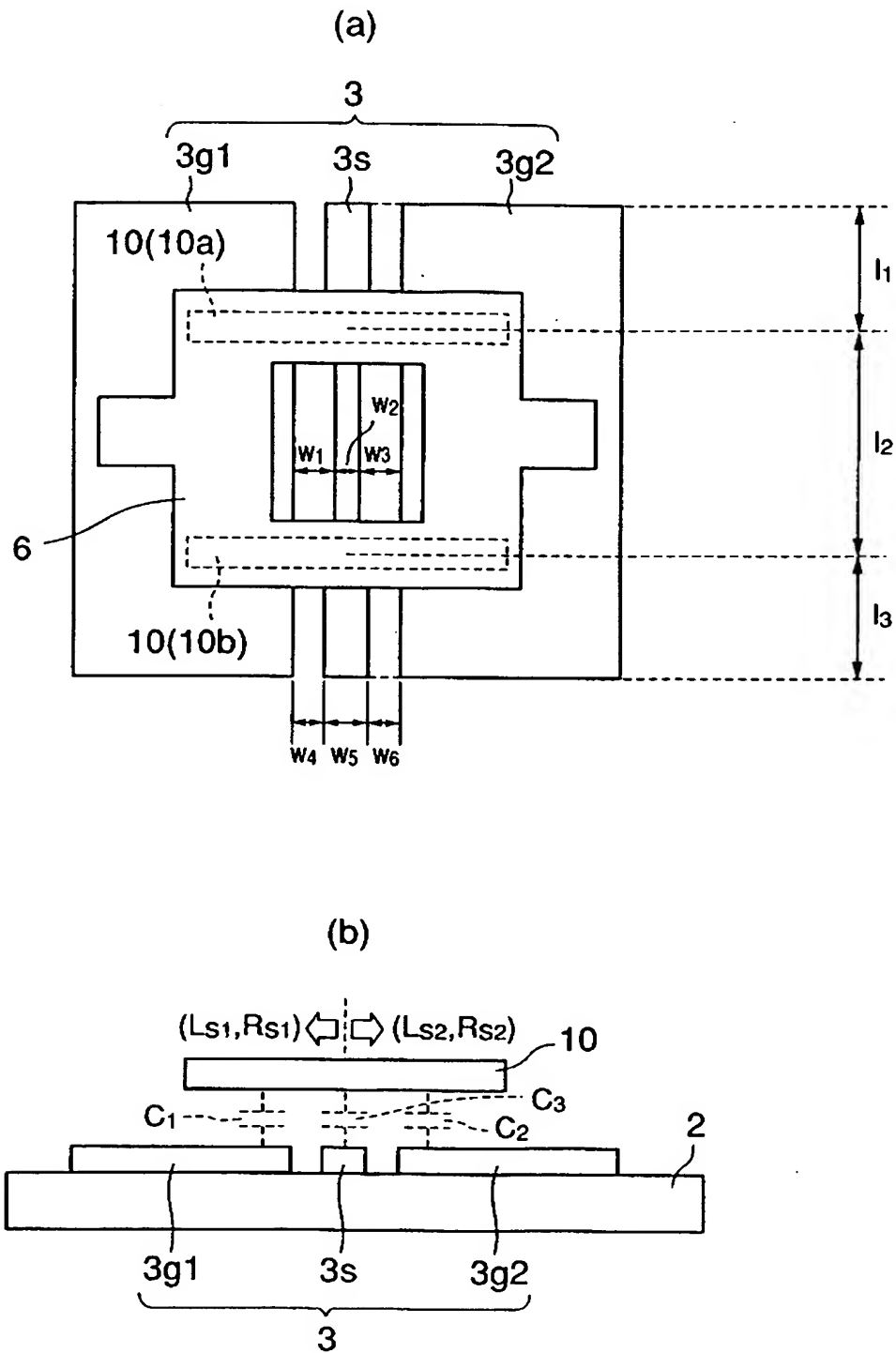
【書類名】 図面  
【図 1】



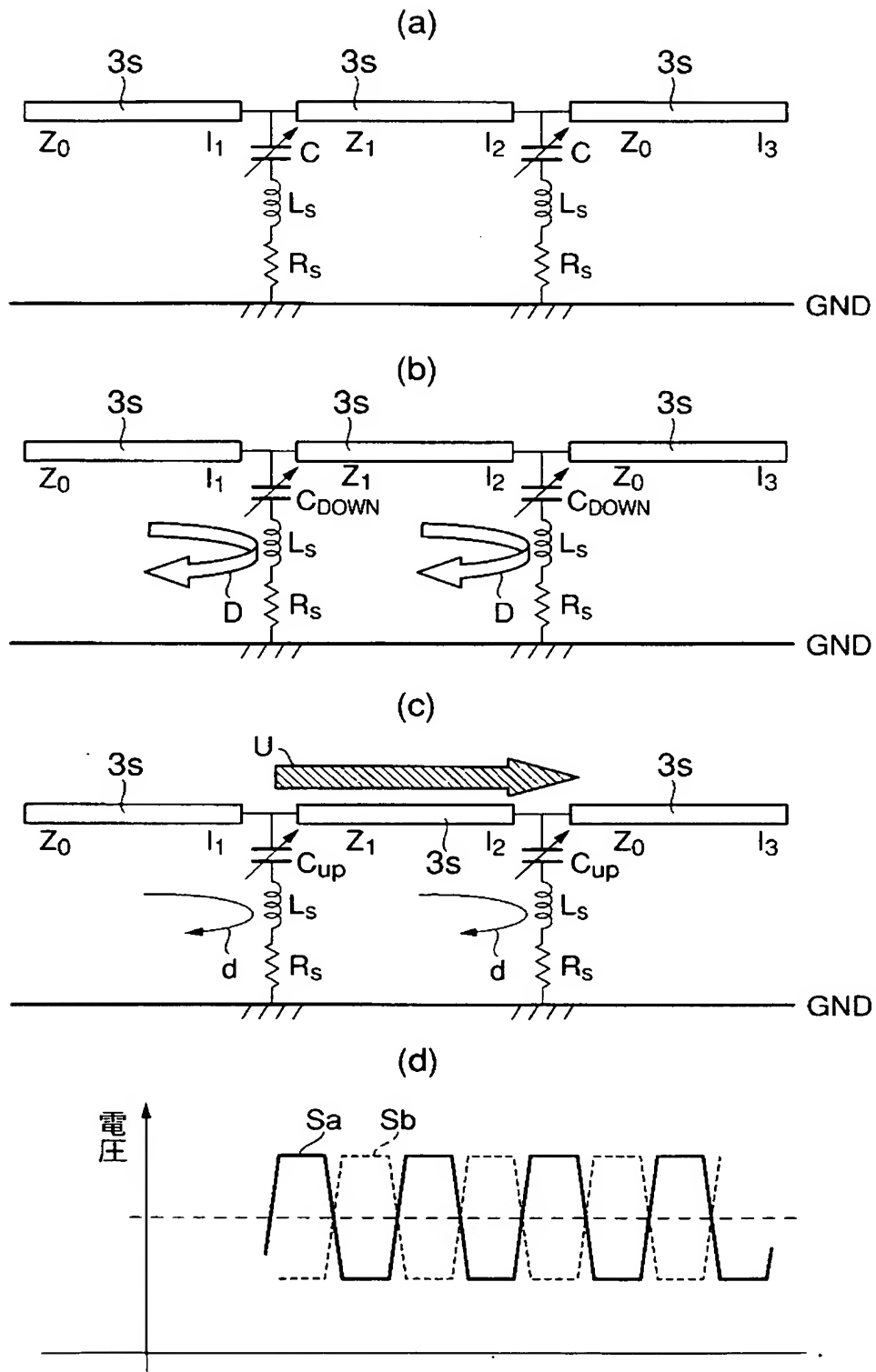
【図 2】



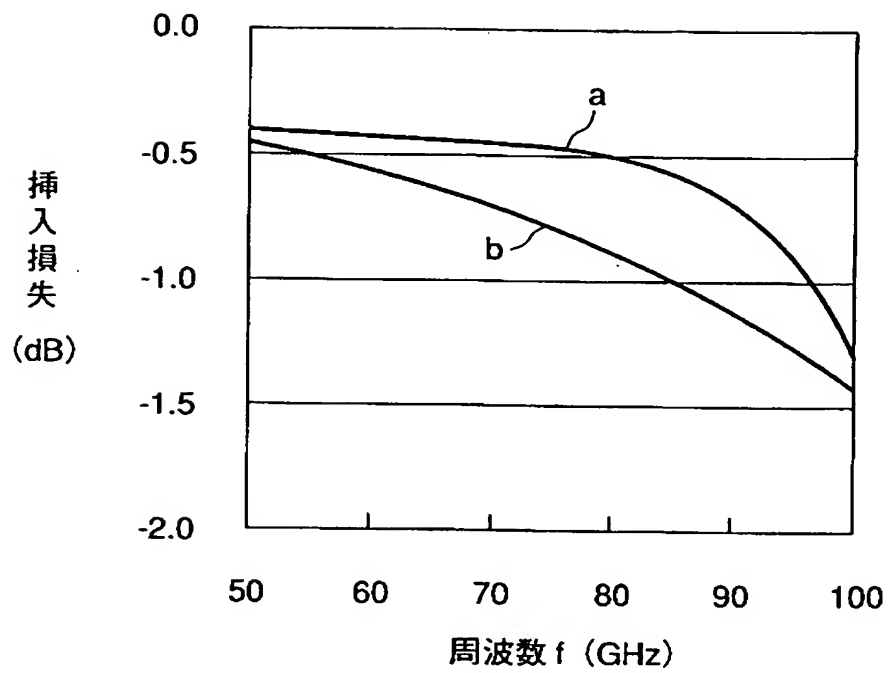
【図 3】



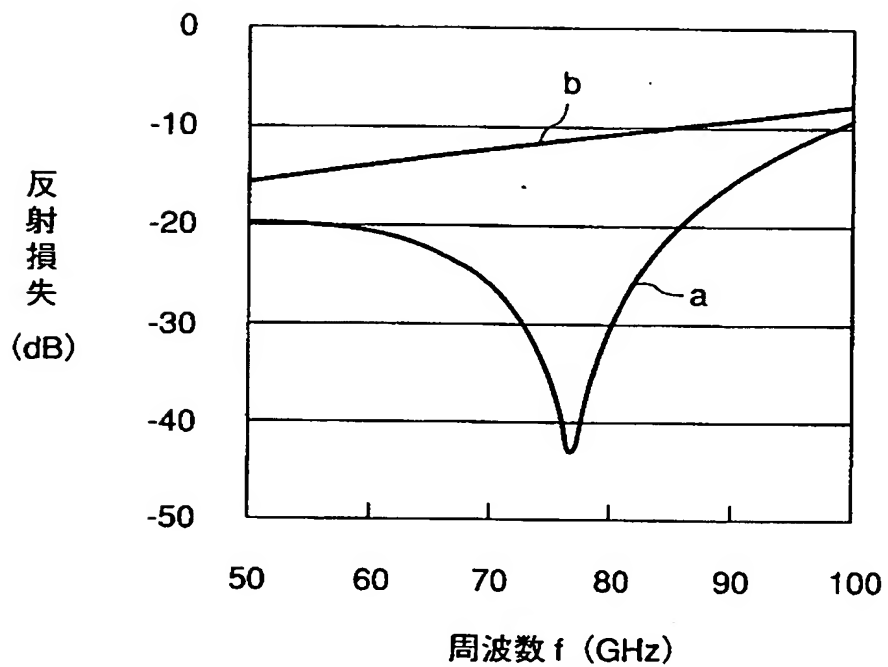
【図 4】



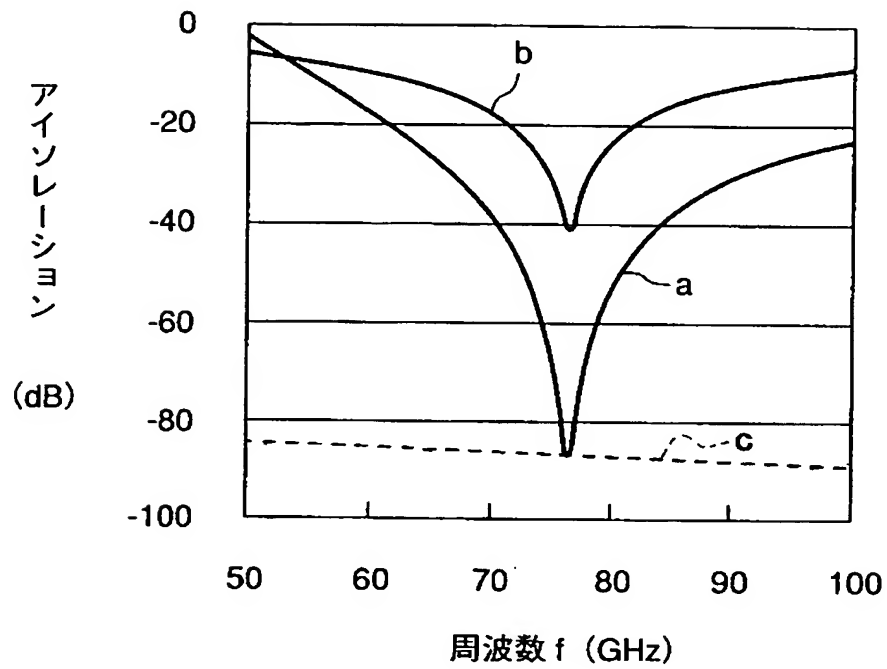
【図 5】



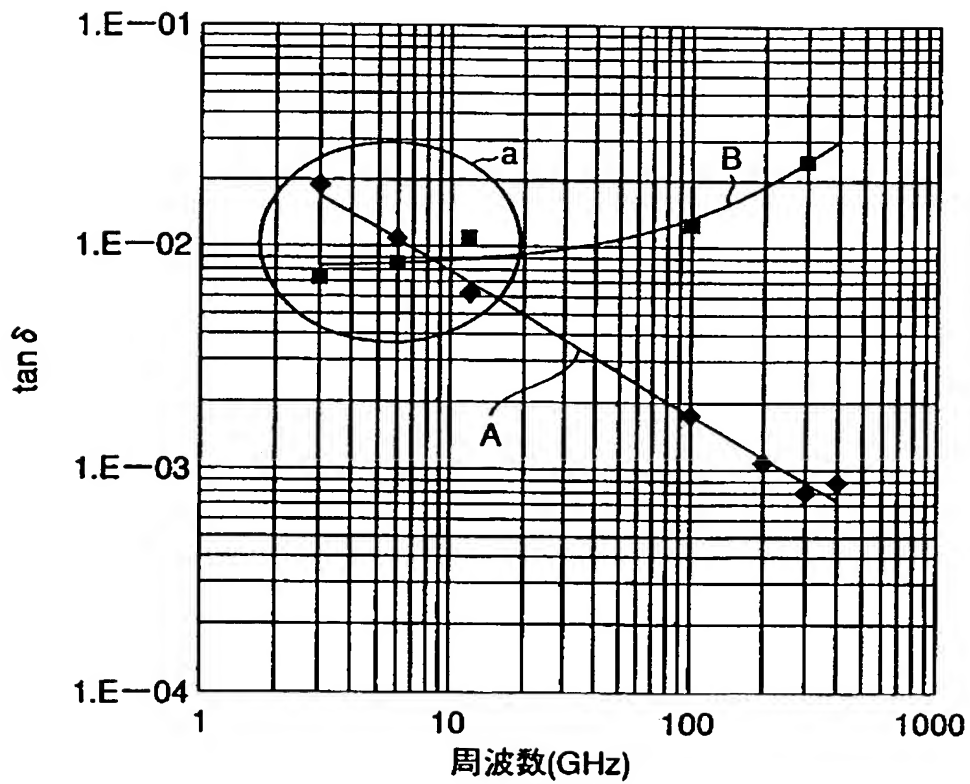
【図 6】



【図 7】

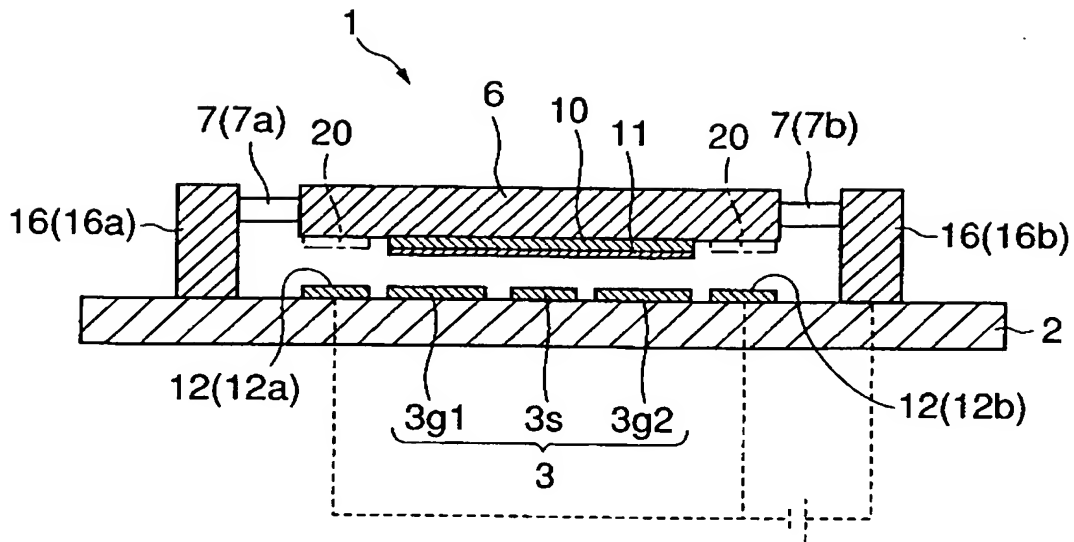


【図 8】

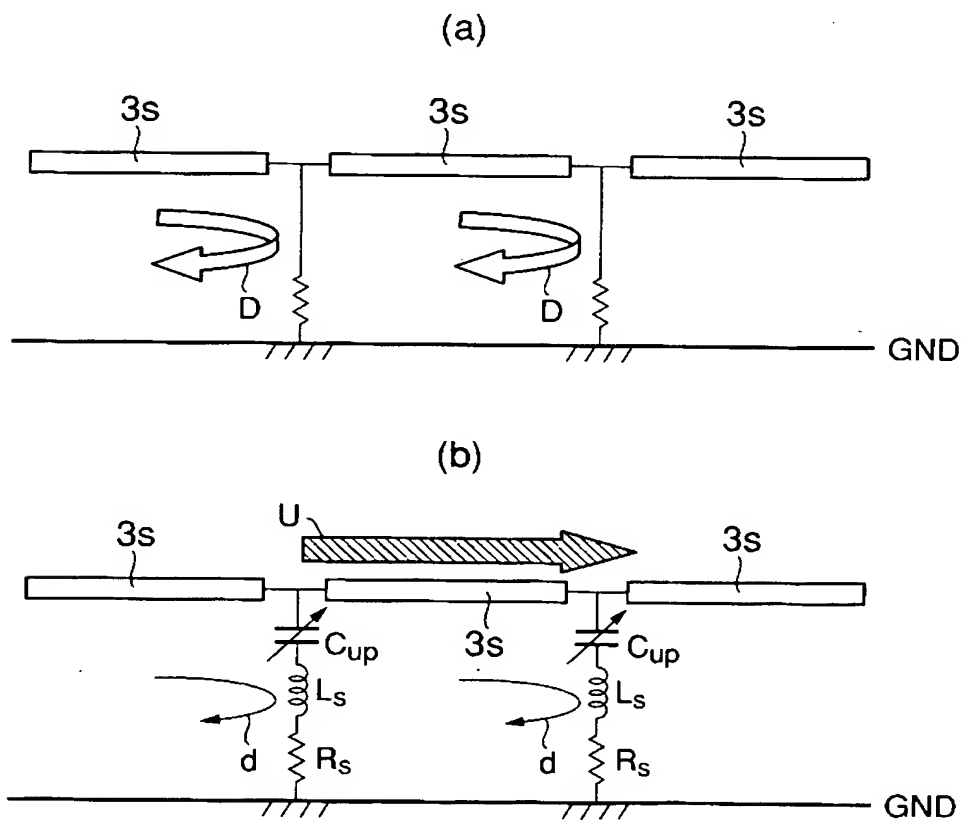




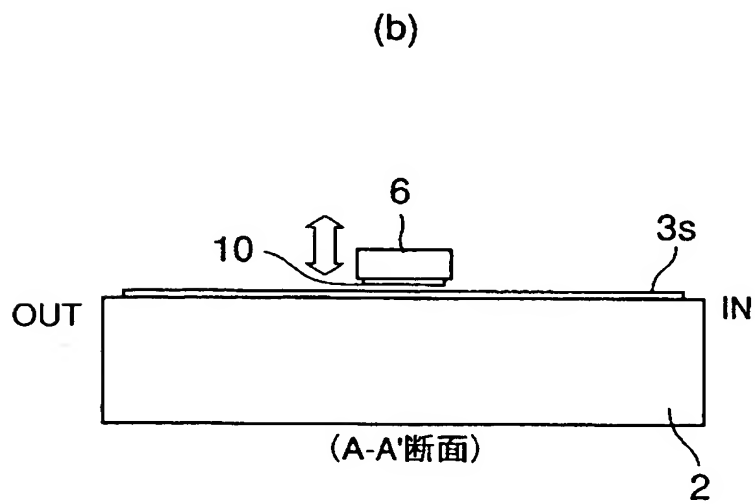
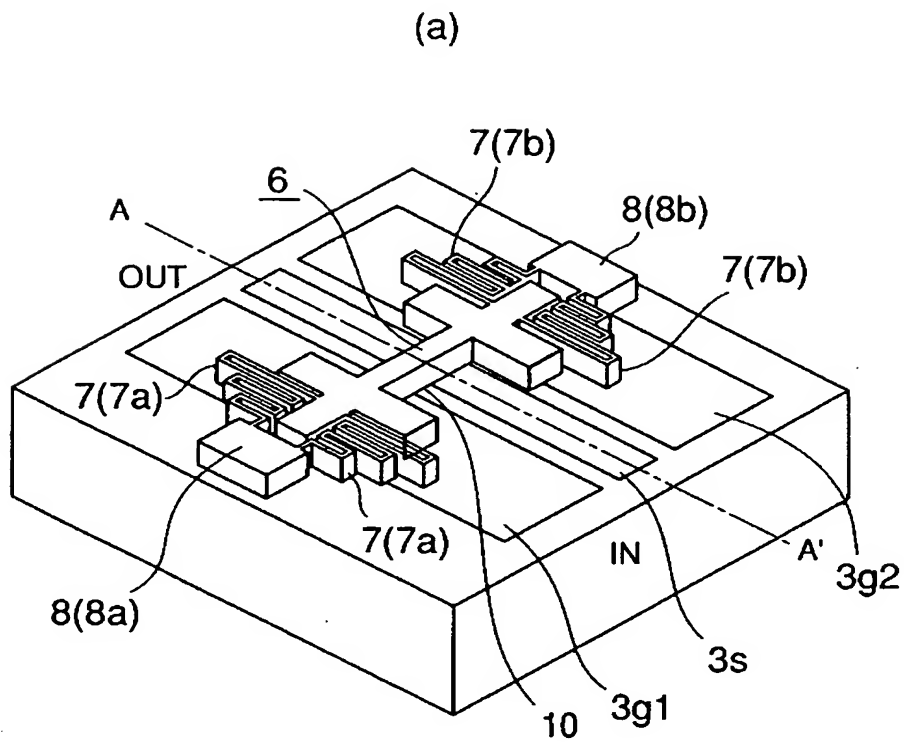
【図 9】



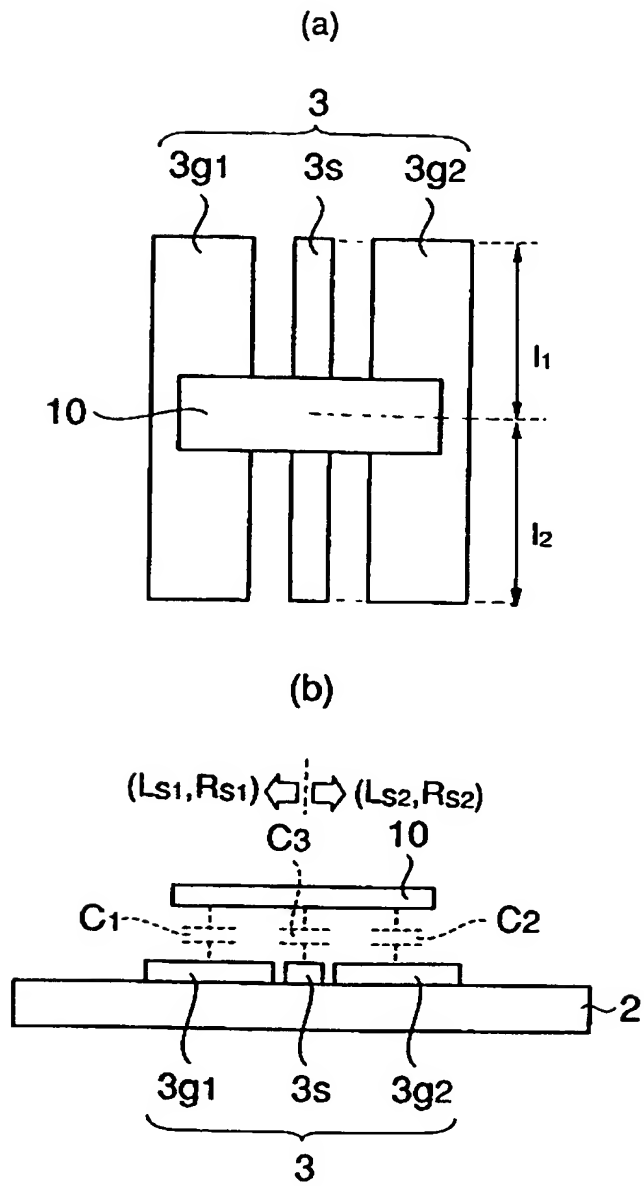
【図 10】



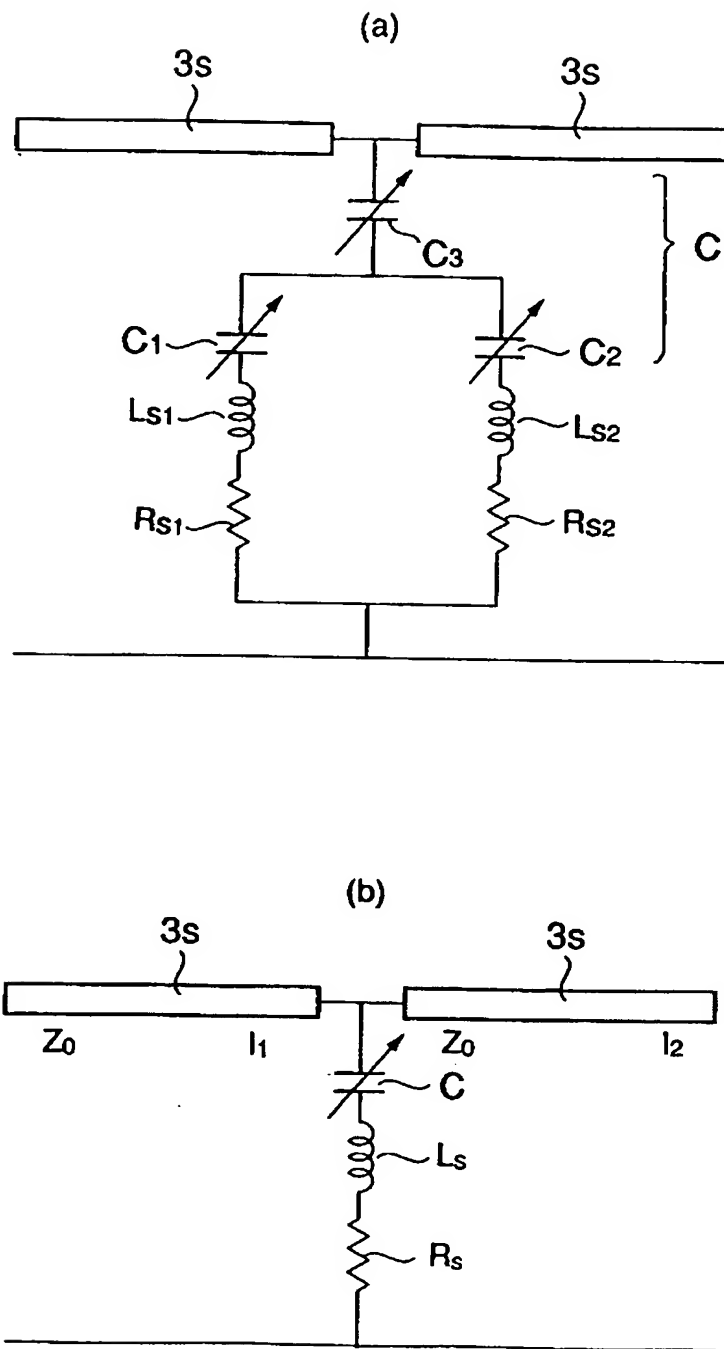
【図 11】



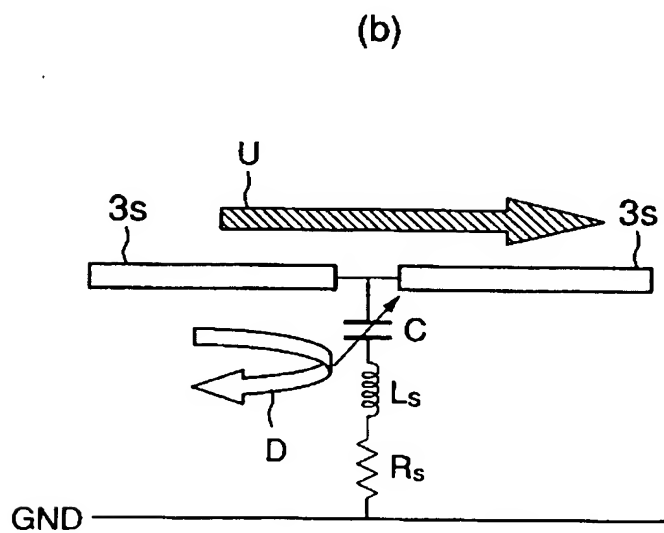
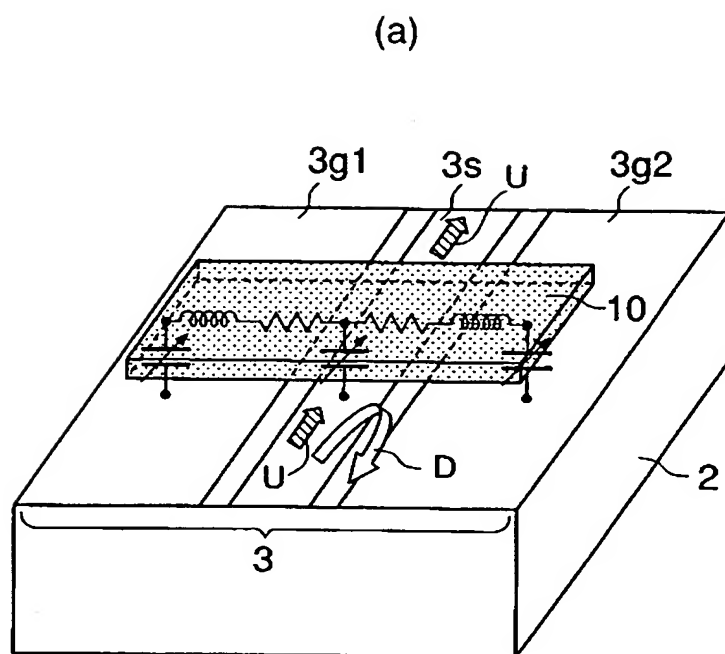
【図 12】



【図 13】



【図 14】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 R F M E M S スイッチの挿入損失や反射損失の低減、アイソレーション特性の向上を図る。

【解決手段】 高周波信号導通部 3 の上方側に複数の可動電極 1 0 a, 1 0 b を高周波信号導通部 3 の高周波信号導通方向に間隔を介して配置する。全ての可動電極 1 0 a, 1 0 b を同時に高周波信号導通部 3 に対する遠近方向の同じ抜きに変位させる手段を設ける。可動電極 1 0 a, 1 0 b が高周波信号導通部 3 から離れる方向に変位して高周波信号導通部 3 の信号導通がオンしている時に、各可動電極 1 0 a, 1 0 b にそれぞれ対向する高周波信号導通部 3 の位置で反射される信号の合成信号の振幅が、各可動電極 1 0 a, 1 0 b に対向する位置で反射される単独の反射信号の振幅よりも小さく抑えられるように、各可動電極 1 0 a, 1 0 b 間の高周波信号導通部 3 を介した電氣的な長さを設定する。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 3 - 3 4 7 1 8 1

出 願 人 履 歷 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 6 2 3 1 ]

1. 変更年月日  
[変更理由]

1 9 9 0 年 8 月 2 8 日  
新規登録

住 所  
氏 名

京都府長岡京市天神二丁目 2 6 番 1 0 号  
株式会社村田製作所